

7.75 — mechanika sieci krystalicznej,
defekty, pękanie

M. Kość, J. Krzemiński

NUKLEACJA MIKROSZCZELIN
W OBSZARACH ZETKNIĘCIA SIĘ
DWÓCH I TRZECH ZIAREN

44/1990

P. 269



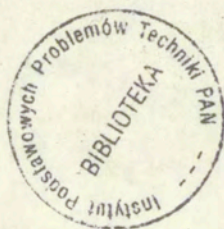
WARSZAWA 1990

<http://rcin.org.pl>

6434

ISSN 0208-5658

Praca wpłynęła do Redakcji dnia 16 listopada 1990 r.



56803



N a p r a w a c h r ę k o p i s u

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

Nakład 120 egz. Ark.wyd.1,5 Ark.druk.2,0

Oddano do drukarni w grudniu 1990 r.

Nr zamówienia 14/91

Warszawska Drukarnia Naukowa, Warszawa,

ul.Śniadeckich 8

<http://rcin.org.pl>

Michał Kość
Pracownia Fizyki Polimerów
IPPT PAN
Jerzy Krzemiński
Zakład Teorii Ośrodków Ciągłych
IPPT PAN

NUKLEACJA MIKROSZCZELIN W OBSZARACH ZETKNIĘCIA SIĘ DWOCH I TRZECH ZIAREN

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki liczbowe teorii nukleacji wakansyjnych mikroszczelin, rozszerzonej na otoczenia linii zetknięcia się trzech ziaren. Wprowadzono nowe kryterium mikropęknięcia rozciąganego metalu, w którym zamiast prędkości nukleacji występują nierównowagowe rozkłady agregatów wakansji. Przeprowadzono porównanie wartości charakterystyk nukleacyjnych wynikających z obu kryteriów, starego i nowego. Wykazano, że stosując pierwsze z tych kryteriów decydująca w nukleacji globalnej jest nukleacja mikroszczelin trójściennych tak, że pozostałe można na ogół pominąć. Natomiast z drugiego kryterium wynika, że żaden z mechanizmów nukleacyjnych nie może być pominięty.

1. Wstęp

Teoria nukleacji wakansyjnych mikropustek, rozszerzona na otoczenia linii zetknięcia się trzech ziaren (tzw. strefa nukleacji), została przedstawiona w pracach [1,2]. Powstające w tych wyróżnionych obszarach metalu mikroszczeliny, w kształcie regularnego trójścianu sferycznego, są energetycznie bardziej uprzywilejowane w stosunku do mikroszczelin dwusoczewkowych tworzących się na powierzchni granicy rozdzielającej dwa sąsiadujące ziarna. Wynika to z wyeliminowania większego pola powierzchni granic ziaren (a więc mniejszej energii tworzenia) niż w przypadku pojedynczej granicy. Praca obecna podaje rezultaty obliczeń liczbowych odpowiednich charakterystyk nukleacyjnych, wynikających ze wspomnianego rozszerzenia teorii, dla trzech badanych już uprzednio metali: Al, Cu, Fe- α .

Przyjęto ośmioboczny kształt ziaren w postaci graniastosłupa prawidłowego o podstawie sześciokątnej oraz trzy różne średnice ziaren. Wprowadzono również nowe kryterium mikropeknięcia dla jednoosiowo odkształconych metali przy rozciąganiu, w którym zamiast prędkości zarodkowania występują nierównowagowe rozkłady agregatów wakansji. Obliczenia przeprowadzono dla starego i nowego kryterium, co umożliwiło porównanie wartości poszczególnych charakterystyk nukleacyjnych wynikających z obu kryteriów.

2. Podstawowe równania teorii

W tym rozdziale zebrano wszystkie podstawowe równania teorii wakansyjnej [1,2] wprowadzone do obliczeń komputerowych. Podano w nim również przyjęte dane liczbowe i stałe materiałowe.

2.1 Nukleacja homogeniczna

Prędkość nukleacji:

$$J_g = 2N S_{ho}^p c_o V \frac{a}{kT} \exp\left[-\frac{\Delta F_g^*}{kT}\right] \quad (1)$$

gdzie N - liczba miejsc atomowych w jednostce objętości,

$$S_{ho} = \frac{c}{c_o} = \exp\left[\frac{\Delta U}{kT}\right] - \text{przesycenie wakansji w ziarnie,} \quad (2)$$

$$c_o = N \exp\left[-\frac{U_f}{kT}\right] - \text{początkowe } (\epsilon=0) \text{ stężenie wakansji,} \quad (3)$$

U_f - energia aktywacji tworzenia się wakansji,

k - stała Boltzmana,

T - temperatura bezwzględna

$$\Delta U(\varepsilon) = aR_0^{-m} \left\{ 1 - (1+\varepsilon)^{-m} - \frac{m}{n} [1 - (1+\varepsilon)^{-n}] \right\} \quad (4)$$

- obniżenie energii aktywacji ruchu wakansji spowodowane odkształceniem jednostkowym metalu ε ,

a, m, n - stałe materiałowe,

R_0 - stała sieci,

$$P_c = p_g \nu R_0 c_0 \exp \left[- \frac{U_m - 2\Delta U}{kT} \right] \quad (5)$$

- szybkość kondensacji wakansji na jednostce pola,

p_g - prawdopodobieństwo, że wakansja przeskoczy w kierunku agregatu (dla prostej sieci kubicznej $p_g=1/6$),

ν - częstość drgań atomu sieci krystalicznej ($\nu \approx 10^{13} \text{ s}^{-1}$),

U_m - energia aktywacji ruchu wakansji,

α - średnie napięcie powierzchniowe kryształu

$$j_g^* = \frac{4\pi\alpha^3 V_v^2}{3[\Delta U(\varepsilon)]^3} \quad (6)$$

- liczba wakansji w agregacie krytycznym (zarodek mikroszczeliny), o energii swobodnej tworzenia (bez entropii mieszania):

$$\Delta F_g^* = \frac{4\pi\alpha^3 V_v^2}{3[\Delta U(\varepsilon)]^2} = j_g^* \Delta U \quad (7)$$

2.2 Powierzchniowa nukleacja heterogeniczna

2.2.1 Symetryczne mikroszczeliny dwusoczewkowe

Prędkość nukleacji:

$$J_{bg}^{II} = \sqrt{2} N_o S_{he} P_c V (kT\bar{\Phi})^{-1/2} \alpha^{1/2} (1 - \cos\theta) \exp\left[-\frac{\Delta F_{bg}^{II*}}{kT}\right] \quad (8)$$

gdzie N_o - liczba dyskretnych miejsc adsorpcji na jednostkę pola powierzchni granicy ziarna ($N_o \cong 10^{15} \text{ cm}^{-2}$)

$$S_{he} = S_{ho} H(\varepsilon) = S_{ho} \frac{\exp\left[-\frac{E_a}{kT}\right] (\mathcal{N} - c_o) + \frac{p_g \mathcal{N} R_o}{N_o} c_o}{\exp\left[-\frac{E_a}{kT}\right] (\mathcal{N} - c) + \frac{p_g \mathcal{N} R_o}{N_o} c} \quad (9)$$

- powierzchniowe przesylenie adwankacji,

$$E_a = U_{des} - U_m \quad \text{- ciepło adsorpcji,} \quad (10)$$

U_{des} - energia aktywacji dla desorpcji adwankacji z granicy ziarna,

$$\bar{\Phi}(\theta) = \frac{1}{4} (2 - 3\cos\theta + \cos^3\theta) \quad (11)$$

- funkcja kąta zwilżenia θ , wyrażająca stosunek objętości odcinka kuli do objętości całej kuli ($\theta \cong 75^\circ$ [3]).

$$i_{bg}^{II*} = \frac{8\pi\alpha^3 V_v^2}{3(\Delta U)^3} \bar{\Phi} \quad (12)$$

- liczba wakansji w agregacie krytycznym o energii tworzenia:

$$\Delta F_{bg}^{II*} = \frac{8\pi\alpha^3 V_v^2}{3[\Delta U(\varepsilon)]^2} \bar{\Phi} = i_{bg}^{II*} \Delta U = 2\Delta F_g^* \bar{\Phi} \quad (13)$$

2.2.2 Mikroszczeliny w kształcie foremnego trójkątnego sferycznego

Prędkość nukleacji:

$$J_{bg}^{III} = \frac{1}{3\sqrt{\pi}} N_o S_{he} P_c V_v (kT)^{-1/2} (\alpha f)^{1/2} b(\theta) [c(\theta)]^{-2/3} \exp\left[-\frac{\Delta F_{bg}^{III*}}{kT}\right] \quad (14)$$

gdzie współczynniki geometryczne [4]:

$$k = \cos\theta, \quad 30^\circ < \theta < 90^\circ, \quad (15)$$

$$a(\theta) = 3\beta(1 - k^2) - k\sqrt{3 - 4k^2}, \quad (16)$$

$$b(\theta) = 12\left(\frac{\pi}{2} - \gamma - k\beta\right), \quad (17)$$

$$c(\theta) = 2\left[\pi - 2\gamma + \frac{k^2}{3} \sqrt{3 - 4k^2 - \beta k(3 - k^2)}\right], \quad (18)$$

$$f(\theta) = (b - 2ak)c^{-2/3}, \quad (19)$$

$$\beta = \arccos \frac{k}{\sqrt{3(1 - k^2)}}, \quad (20)$$

$$\gamma = \arcsin \frac{1}{2\sqrt{1 - k^2}}, \quad (21)$$

$$i_{bg}^{III*} = \frac{\alpha^3 V_v^2}{27(\Delta U)^3} f^3 \quad (22)$$

- liczba wakansji w agregacie krytycznym o energii tworzenia:

$$\Delta F_{bg}^{III*} = \frac{\alpha^3 V_v^2}{27(\Delta U)^2} f^3 = i_{bg}^{III*} \Delta U. \quad (23)$$

2.3 Obwodowa nukleacja heterogeniczna

2.3.1 Mikroszczeliny dwusoczewkowe

Prędkość nukleacji:

$$J_{bs}^{II} = \frac{1}{2\sqrt{2}} N_o S_{he} \omega_c (\alpha k T^*)^{-1/2} (2\Delta U + kT \ln H) \sin \theta \exp\left[-\frac{\Delta F_{bs}^{II*}}{kT}\right], \quad (24)$$

gdzie

$$\omega_c = \frac{p_b p_g \nu R_o^2 \mathcal{N} c_o}{\exp\left[-\frac{E_a}{kT}\right] (\mathcal{N} - c) + \frac{p_g \mathcal{N} R_o}{N_o} c} \exp\left[-\frac{U_{sd} - \Delta U}{kT}\right] \quad (25)$$

- szybkość padania adwankansji na linię o jednostkowej długości położoną na powierzchni granicy ziarna,

p_b - prawdopodobieństwo, że adwankansja przeskoczy w kierunku linii obwodu podstawy agregatu (dla kwadratowej sieci na powierzchni granicy $p_b=1/4$),

U_{sd} - energia aktywacji dla dyfuzji powierzchniowej adwankansji,

$$i_{bs}^{II*} = \frac{64\pi\alpha^3 V_v^2}{3(kT \ln S_{he} + \Delta U)^3} \bar{\Phi} \quad (26)$$

- liczba adwankansji w agregacie krytycznym o energii utworzenia:

$$\Delta F_{bs}^{II*} = \frac{32\pi\alpha^3 V_v^2}{3(kT \ln S_{he} + \Delta U)^2} \bar{\Phi} = \Delta F_{bg}^{II*} \left(\frac{2\Delta U}{2\Delta U + kT \ln H} \right)^2 \quad (27)$$

2.3.2 Mikroszczeliny w kształcie trójscianu sferycznego

Prędkość nukleacji:

$$J_{bs}^{III} = \frac{3}{\sqrt{\pi}} N_{O_{he}} S_{he} (2\Delta U + kT \ln H) \omega_c (\alpha kT f)^{-1/2} \beta [c(\theta)]^{-1/3} \sin \theta \cdot \exp \left[- \frac{\Delta F_{bs}^{III*}}{kT} \right] \quad (28)$$

gdzie

$$\Delta F_{bs}^{III*} = \frac{4\alpha^3 V_v^2}{27(kT \ln S_{he} + \Delta U)^2} f^3 = \frac{1}{2} i_{bs}^{III*} \Delta U \quad (29)$$

- energia swobodna utworzenia agregatu krytycznego złożonego z

$$i_{bs}^{III*} = \frac{8\alpha^3 V_v^2}{27(kT \ln S_{he} + \Delta U)^3} f^3 \quad (30)$$

adwakansji.

2.4 Sprzężona nukleacja heterogeniczna

2.4.1 Mikroszczeliny dwusoczewkowe

Prędkość nukleacji:

$$J_{gs}^{II} = \left[\frac{\pi}{24} \right]^{1/6} N_o S_{he} \omega_c (kT)^{-1/2} \left[\frac{V_v}{\Phi} \right]^{1/3} \sin \theta \cdot \left[2i_{bg}^{II*1/3} \Delta U \left(D^{II} + j_{gs}^{II* -1/3} \right)^2 - kT D^{II} \ln H \right]^{1/2} \exp \left[- \frac{L^{II(1) + \Delta F_{gs}^{II*}}}{kT} \right] \quad (31)$$

gdzie parametr pomocniczy D^{II} oraz operator L^{II} mają postacie:

$$D^{II} = \left[\frac{3}{\pi} \right]^{1/3} \frac{P_c}{\omega_c} \left[\frac{V_v}{\Phi} \right]^{1/3} \frac{1 - \cos \theta}{\sin \theta} \quad (32)$$

$$L^{II(i)} = \frac{3kT \ln H}{D^{II3}} \left[\frac{D^{II2}}{2} i^{2/3} - D^{II} i^{1/3} + \ln(D^{II} i^{1/3} + 1) \right] \quad (33)$$

$$j_{gs}^{II*} = (2D^{II})^{-3} i_{bg}^{II*} \left\{ D^{II} - i_{bs}^{II* -1/3} + \left[\left(D^{II} - i_{bs}^{II* -1/3} \right)^2 + 4i_{bg}^{II* -1/3} D^{II} \right]^{1/2} \right\}^3 \quad (34)$$

- liczba wakansji w agregacie krytycznym o energii tworzenia:

$$\begin{aligned} \Delta F_{gs}^{II*} &= \Delta F_{bg}^{II}(i_{gs}^{II*}) - L^{II}(i_{gs}^{II*}) = \\ &= (72\pi)^{1/3} V_v^{2/3} \Phi^{1/3} \alpha i_{gs}^{II*2/3} - 2\Delta U i_{gs}^{II*} - L^{II}(i_{gs}^{II*}) \end{aligned} \quad (35)$$

2.4.2 Mikroszczeliny trójścienne

Prędkość nukleacji:

$$\begin{aligned} J_{gs}^{III} &= \left[\frac{6}{\pi} \right]^{1/2} N_o S_{he} \omega_c (kT)^{-1/2} \left[\frac{V_v}{c(\theta)} \right]^{1/3} \beta \sin \theta \cdot \\ &\cdot \left[2i_{bg}^{III*1/3} \Delta U \left(D^{III} + i_{gs}^{III* -1/3} \right)^2 - kTD^{III} \ln H \right]^{1/2} \exp \left[- \frac{L^{III}(1) + \Delta F_{gs}^{III*}}{kT} \right] \end{aligned} \quad (36)$$

gdzie

$$D^{III} = \frac{P_c}{\omega_c} \left[\frac{V_v}{c(\theta)} \right]^{1/3} \frac{b(\theta)}{6\beta(\theta) \sin \theta} \quad (37)$$

$$L^{III}(i) = \frac{3kT \ln H}{D^{III3}} \left[\frac{D^{III2}}{2} i^{2/3} - D^{III} i^{1/3} + \ln(D^{III} i^{1/3} + 1) \right] \quad (38)$$

$$i_{gs}^{III*} = (2D^{III})^{-3} i_{bg}^{III*} \left\{ D^{III} - i_{bs}^{III* -1/3} + \left[\left(D^{III} - i_{bs}^{III* -1/3} \right)^2 + 4i_{bg}^{III* -1/3} D^{III} \right]^{1/2} \right\}^3 \quad (39)$$

- liczba wakansji w agregacie krytycznym o energii tworzenia:

$$\begin{aligned} \Delta F_{gs}^{III*} &= \Delta F_{bg}^{III} (i_{gs}^{III*}) - L^{III} (i_{gs}^{III*}) = \\ &= f\alpha V_v^{2/3} i_{gs}^{III* 2/3} - 2\Delta U i_{gs}^{III*} - L^{III} (i_{gs}^{III*}) \end{aligned} \quad (40)$$

2.5 Nukleacja globalna

Prędkość nukleacji globalnej

$$J_o = J_g + \frac{S_g}{V_g} J_{gs}^{II} + \frac{18\delta h \left(i_{gs}^{III*} \right)}{V_g} J_{gs}^{III} \quad (41)$$

gdzie S_g - pole powierzchni granicy ziarna, V_g - objętość ziarna, δ - długość krawędzi bocznej ziarna ośmiościennego, równa jego średnicy (graniastosłup prawidłowy o podstawie sześciokątnej o boku $\delta/2$),

$$h(j_{gs}^{III*}) = \frac{2}{\sqrt{3}} \left[\frac{V_v}{c(\theta)} \right]^{1/3} \cos\left(\frac{2}{3}\pi - \theta\right) j_{gs}^{III*1/3} \quad (42)$$

2.6 Kryterium mikropeknięcia

Założono powyżej, że - podobnie jak w rzeczywistym polikryształe - wszystkie strumienie występują jednocześnie w całym ziarnie w nukleacji wszystkich typów wakansyjnych mikropustek. Warunek zakończenia pierwszego etapu procesu pęknięcia (mikropeknięcia) będzie spełniony, gdy w badanym ziarnie pojawi się pierwsza stabilna mikroszczelina gotowa do dalszego samorzutnego wzrostu. Taki warunek nałożony na prędkość nukleacji globalnej prowadzi do określenia jej wartości krytycznej J_o^* , generującej jeden dowolny zarodek mikroszczeliny w średnim ziarnie w ciągu sekundy

$$J_o^* = \frac{1}{V_{gav}} \left[\text{zarodków/cm}^3 \text{s} \right] \quad (43)$$

Dla tej liczby zarodków mikroszczelin należy znaleźć korespondujące odkształcenie krytyczne ϵ_o^* .

To używane dotychczas kryterium nie jest oczywiście jednoznaczne, ponieważ zależy od kształtu i wymiaru ziarna oraz od przyjęcia jednostki czasu. Aby się uwolnić przynajmniej od tej drugiej niedogodności można nałożyć analogiczny jak wyżej warunek na sumaryczną liczbę A_o wszystkich rodzajów agregatów krytycznych utworzonych w obserwowanym ziarnie lub na jego granicy

$$A_o = A_g^* + \frac{S_g}{V_g} N_{gs}^{II*} + \frac{18\delta h(i_{gs}^{III*})}{V_g} N_{gs}^{III*} \quad (44)$$

gdzie A_g^* , N_{gs}^{II*} , N_{gs}^{III*} - nierównowagowe gęstości agregatów krytycznych, odpowiednio, w homogenicznej nukleacji w ziarnie oraz w sprzężonej nukleacji heterogenicznej na granicy ziarna dla agregatów dwusoczewkowych i trójściennych.

Poszczególne funkcje rozkładów wielkości agregatów oznaczane były dawniej przez $A(i)$ oraz $N(i)$ [1,2]. W odniesieniu do rozkładu heterogenicznego musiano tu jednak rozróżnić rozkłady agregatów dwusoczewkowych od trójściennych. Stąd też wprowadzono oznaczenia indeksowe identyczne z używanymi dotychczas przy prędkościach nukleacji oraz innych charakterystykach nukleacyjnych. Można pokazać, że omawiane funkcje mają następujące postacie:

$$A(i_g^*) = A_g^* = \frac{1}{2} N_{ho} S_{ho} \exp\left[-\frac{\Delta F_g^*}{kT}\right] \quad (45)$$

$$N_{gs}^{II}(i_{gs}^{II*}) = N_{gs}^{II*} = \frac{1}{2} N_o S_{he} \exp\left[-\frac{L^{II}(1) + \Delta F_{gs}^{II*}}{kT}\right] \quad (46)$$

$$N_{gs}^{III}(i_{gs}^{III*}) = N_{gs}^{III*} = \frac{1}{2} N_o S_{he} \exp\left[-\frac{L^{III}(1) + \Delta F_{gs}^{III*}}{kT}\right] \quad (47)$$

Warunek mikropekania wyrażony przy pomocy funkcji rozkładów agregatów sprowadza się teraz do następującego kryterium: Globalna liczba

agregatów krytycznych A_O^* , odpowiadająca jednemu dowolnemu zarodkowi mikroszczeliny w średnim ziarnie, jest liczbą krytyczną

$$A_O^* = \frac{1}{\bar{V}} \left[\text{zarodków/jednostkę objętości} \right] \quad (48)$$

Podobnie jak poprzednio należy wyznaczyć korespondujące odkształcenie krytyczne ϵ_g^* . Oczywiście oba kryteria dostarczają różne ϵ_O^* .

3. Dane liczbowe i stałe materiałowe

Obliczenia numeryczne wykonano dla trzech metali: Al, Cu, Fe- α . Przyjęto następujące dane liczbowe i stałe materiałowe [5,6]:

$$m=1, n=10, a=8.5 \cdot 10^{-19} \text{ [erg} \cdot \text{cm]}, p_g=1/6, p_D=1/4$$

$$\theta=75^\circ, N_O \cong \frac{1}{R_O^2} \text{ [cm}^{-2}\text{]}, \nu=10^{13} \text{ [s}^{-1}\text{]}, \mathcal{N} = \frac{1}{\bar{V}_V} \text{ [cm}^{-3}\text{]}, V_V = \frac{\mu}{\rho N_A} \text{ [cm}^3\text{]}$$

gdzie μ [g·mol⁻¹] - masa atomowa, ρ [g·cm⁻³] - gęstość,
 $N_A=6.02 \cdot 10^{23}$ mol⁻¹ - liczba Avogadro.

Tablica 1

Stałe materiałowe

Stała	Aluminium	Miedź	Żelazo
R_o [cm]	$4.0496 \cdot 10^{-8}$	$3.6149 \cdot 10^{-8}$	$2.8660 \cdot 10^{-8}$
α [erg·cm ⁻²]	900	1200	1400
U_f [erg]	$1.0400 \cdot 10^{-12}$	$1.4400 \cdot 10^{-12}$	$1.4400 \cdot 10^{-12}$
U_m [erg]	$9.9200 \cdot 10^{-13}$	$1.6640 \cdot 10^{-12}$	$1.0560 \cdot 10^{-12}$
U_{sd} [erg]	$5.7600 \cdot 10^{-13}$	$8.3200 \cdot 10^{-13}$	$6.8800 \cdot 10^{-13}$
E_a [erg]	$6.0000 \cdot 10^{-13}$	$6.0000 \cdot 10^{-13}$	$7.6000 \cdot 10^{-13}$
μ [g·mol ⁻¹]	26.97	63.54	55.85
ρ [g·cm ⁻³]	2.70	8.96	7.87
V_v [cm ³]	$1.6593 \cdot 10^{-23}$	$1.1780 \cdot 10^{-23}$	$1.1788 \cdot 10^{-23}$
\mathcal{N} [cm ⁻³]	$6.0267 \cdot 10^{22}$	$8.4890 \cdot 10^{22}$	$8.4830 \cdot 10^{22}$

Przyjęto, że ziarna mają kształt ośmiościenny w postaci graniastosłupa prawidłowego mającego za podstawę sześciokąt foremny o długości boku $\delta/2$ i długości krawędzi bocznych δ . Wprowadzono trzy średnice ziaren $\delta=1 \mu\text{m}$, $10 \mu\text{m}$, $100 \mu\text{m}$.

Tablica 2

Dane geometryczne ziaren

δ [cm]	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}
S_g [cm ²]	$4,299 \cdot 10^{-8}$	$4,299 \cdot 10^{-6}$	$4,299 \cdot 10^{-4}$
V_g [cm ³]	$6,495 \cdot 10^{-13}$	$6,495 \cdot 10^{-10}$	$6,495 \cdot 10^{-7}$
S_g/V_g [cm ⁻¹]	$6,619 \cdot 10^4$	$6,619 \cdot 10^3$	$6,619 \cdot 10^2$

Tablica 4

Wukleacja mikroszczelin dwusoczkwowych i trójściennych w Al dla ziarna osmiościennego o średnicy $\delta=10 \mu\text{m}$ oraz $\theta=75^\circ$.

Wartości $\epsilon_0^* = \epsilon_{gs}^{III*}, j_{gs}^{III*}, \Delta F_{gs}^{III*}, J_{bg}^{III}, J_{hs}^{III}, J_{gs}^{III}, J_{gs}^{II}, W_{gs}^{II*}, W_{gs}^{III*}, \lambda_0$ dla krytycznej prędkości nukleacji globalnej

$$J_0^* = 1/V_g = 1.539 \cdot 10^9 \text{ zarodków/cm}^3 \text{ s.}$$

$\delta = 10^{-3} \text{ cm} \quad V_g = .6495 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^3 \quad S_g = 4.299 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2 \quad S_g/V_g = 6.619 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-1}$										
Al										
Wukleacja globalna = Wukleacja heterogeniczna										
T	$\epsilon_0^* = \epsilon_{gs}^{III*}$	j_{gs}^{III*}	$\Delta F_{gs}^{III*}/kT$	J_{bg}^{III}	J_{hs}^{III}	J_{gs}^{III}	J_{gs}^{II}	W_{gs}^{II*}	W_{gs}^{III*}	λ_0
300	0.08725	3.54	40.04	1.32E+06	4.34E+08	2.15E+09	4.62E+01	6.09E-06	1.91E+02	1.36E+02
500	0.07985	6.98	37.79	3.69E+06	9.44E+08	1.72E+09	9.78E+01	2.54E-07	3.02E+00	2.70E+00
700	0.06811	11.45	37.55	3.60E+07	8.53E+08	1.46E+09	9.24E+01	4.06E-08	4.35E-01	4.58E-01
900	0.06355	16.74	37.69	2.29E+08	7.37E+08	1.29E+09	7.96E+01	1.21E-08	1.33E-01	1.59E-01

Tablica 5

Wukleacja mikroszczelin dwusoczkwowych i trójściennych w Al dla ziarna osmiościennego o średnicy $\delta=100 \mu\text{m}$ oraz $\theta=75^\circ$.

Wartości $\epsilon_0^* = \epsilon_{gs}^{III*}, j_{gs}^{III*}, \Delta F_{gs}^{III*}, J_{bg}^{III}, J_{hs}^{III}, J_{gs}^{III}, J_{gs}^{II}, W_{gs}^{II*}, W_{gs}^{III*}, \lambda_0$ dla krytycznej prędkości nukleacji globalnej

$$J_0^* = 1/V_g = 1.539 \cdot 10^6 \text{ zarodków/cm}^3 \text{ s.}$$

$\delta = 10^{-2} \text{ cm} \quad V_g = .6495 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3 \quad S_g = 4.299 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2 \quad S_g/V_g = 6.618 \cdot 10^2 \text{ cm}^{-1}$										
Al										
Wukleacja globalna = Wukleacja heterogeniczna										
T	$\epsilon_0^* = \epsilon_{gs}^{III*}$	j_{gs}^{III*}	$\Delta F_{gs}^{III*}/kT$	J_{bg}^{III}	J_{hs}^{III}	J_{gs}^{III}	J_{gs}^{II}	W_{gs}^{II*}	W_{gs}^{III*}	λ_0
300	0.08560	3.78	41.85	5.22E+04	5.44E+07	2.10E+08	2.06E+00	3.14E-07	2.15E+01	1.57E-01
500	0.07350	7.55	39.82	2.83E+05	9.38E+07	1.66E+08	3.91E+00	1.18E-08	3.37E-01	3.10E-03
700	0.06697	12.43	39.68	3.22E+06	8.44E+07	1.42E+08	3.59E+00	1.77E-09	4.71E-02	5.12E-04
900	0.06248	18.22	39.87	2.22E+07	7.21E+07	1.24E+08	2.99E+00	4.94E-10	1.40E-02	1.73E-04

Tablica 6

Nukleacja mikroszczełlin dwusoczkwowych i trójściennych w Cu dla ziarna osłóściennego o średnicy $\delta=1 \text{ nm}$ oraz $\theta=75^\circ$.

Wartości $\epsilon_0^I = \epsilon_{gs}^{III^*}$, $i_{gs}^{III^*}$, $\Delta F_{gs}^{III^*}$, J_{bg}^{III} , J_{bs}^{III} , J_{gs}^{III} , J_{gs}^{II} , $J_{gs}^{II^*}$, $J_{gs}^{III^*}$, λ_0 dla krytycznej prędkości nukleacji globalnej

$$J_0^I = 1/V_g = 1.539 \cdot 10^{12} \text{ zarodków/cm}^3 \text{ s.}$$

Cu										
Nukleacja globalna = Nukleacja heterogeniczna										
T	$\epsilon_0^I = \epsilon_{gs}^{III^*}$	$i_{gs}^{III^*}$	$\Delta F_{gs}^{III^*}/kT$	J_{bg}^{III}	J_{bs}^{III}	J_{gs}^{III}	J_{gs}^{II}	$J_{gs}^{II^*}$	$J_{gs}^{III^*}$	λ_0
300	0.09209	1.96	28.65	1.58E+02	2.08E+10	2.95E+10	8.57E+04	1.33E+03	3.09E+08	1.62E+10
500	0.07883	4.26	28.84	6.33E+04	1.61E+10	2.29E+10	6.15E+04	3.99E-01	1.00E+05	6.79E+06
700	0.07055	7.50	30.06	1.53E+06	1.32E+10	1.88E+10	2.97E+04	4.35E-03	1.85E+03	1.51E+05
900	0.06496	11.55	31.16	1.21E+07	1.14E+10	1.63E+10	1.61E+04	2.44E-04	1.67E+02	1.58E+04
1100	0.06090	16.27	32.05	5.45E+07	1.01E+10	1.46E+10	9.88E+03	3.34E-05	3.34E+01	3.53E+03
1300	0.05780	21.60	32.77	1.76E+08	9.01E+09	1.32E+10	6.57E+03	7.64E-06	1.04E+01	1.21E+03

Tablica 7

Nukleacja mikroszczełlin dwusoczkwowych i trójściennych w Cu dla ziarna osłóściennego o średnicy $\delta=10 \text{ nm}$ oraz $\theta=75^\circ$.

Wartości $\epsilon_0^I = \epsilon_{gs}^{III^*}$, $i_{gs}^{III^*}$, $\Delta F_{gs}^{III^*}$, J_{bg}^{III} , J_{bs}^{III} , J_{gs}^{III} , J_{gs}^{II} , $J_{gs}^{II^*}$, $J_{gs}^{III^*}$, λ_0 dla krytycznej prędkości nukleacji globalnej

$$J_0^I = 1/V_g = 1.539 \cdot 10^9 \text{ zarodków/cm}^3 \text{ s.}$$

Cu										
Nukleacja globalna = Nukleacja heterogeniczna										
T	$\epsilon_0^I = \epsilon_{gs}^{III^*}$	$i_{gs}^{III^*}$	$\Delta F_{gs}^{III^*}/kT$	J_{bg}^{III}	J_{bs}^{III}	J_{gs}^{III}	J_{gs}^{II}	$J_{gs}^{II^*}$	$J_{gs}^{III^*}$	λ_0
300	0.09062	2.12	30.20	1.07E+01	2.01E+09	2.85E+09	4.26E+03	9.95E+01	4.49E+07	2.47E+07
500	0.07735	4.68	30.74	4.98E+03	1.53E+09	2.16E+09	2.56E+03	2.12E-02	1.21E+04	8.56E+03
700	0.06921	8.29	32.12	1.32E+05	1.26E+09	1.80E+09	1.18E+03	2.02E-04	2.08E+02	1.77E+02
900	0.06373	12.75	33.30	1.10E+06	1.10E+09	1.57E+09	6.19E+02	1.06E-05	1.81E+01	1.77E+01
1100	0.05976	17.96	34.23	5.08E+06	9.72E+08	1.40E+09	3.69E+02	1.37E-06	3.52E+00	3.85E+00
1300	0.05673	23.83	34.96	1.69E+07	8.65E+08	1.26E+09	2.42E+02	3.06E-07	1.08E+00	1.30E+00

Tablica 8

Wkłęcają mikrocząsteczek dwusoczekowych i trójściennych w Cu dla ziarna osmiościennego o średnicy $\delta=100 \mu\text{m}$ oraz $\theta=75^\circ$.

Wartości $\epsilon_0^* = \epsilon_{gs}^{III*}$, j_{gs}^{III*} , ΔF_{gs}^{III*} , J_{bg}^{III} , J_{hs}^{III} , J_{gs}^{III} , J_{gs}^{II} , W_{gs}^{II*} , W_{gs}^{III*} , A_0 dla krytycznej prędkości nukleacji globalnej

$$J_0^* = 1/V_g = 1.539 \cdot 10^6 \text{ zarodków/cm}^3 \text{ s.}$$

Cu		$\delta = 10^{-2} \text{ cm}$ $V_g = .6495 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3$ $S_g = 4.299 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2$ $S_g/V_g = 6.619 \cdot 10^2 \text{ cm}^{-1}$								
		Wkłęcają globalna = Wkłęcają heterogeniczna								
T	$\epsilon_0^* = \epsilon_{gs}^{III*}$	j_{gs}^{III*}	$\Delta F_{gs}^{III*}/kT$	J_{bg}^{III}	J_{hs}^{III}	J_{gs}^{III}	J_{gs}^{II}	W_{gs}^{II*}	W_{gs}^{III*}	A_0
300	0.08919	2.29	31.83	6.90E-01	1.83E+08	2.60E+08	1.92E+02	6.66E+00	6.07E+06	3.78E+04
500	0.07597	5.13	32.67	4.03E+02	1.46E+08	2.07E+08	1.07E+02	1.11E-03	1.45E+03	1.11E+01
700	0.06796	9.10	34.18	1.17E+04	1.22E+08	1.74E+08	4.67E+01	9.33E-06	2.34E+01	2.10E-01
900	0.06259	14.01	35.45	1.00E+05	1.05E+08	1.50E+08	2.33E+01	4.46E-07	1.94E+00	1.98E-02
1100	0.05870	19.72	36.43	4.78E+05	9.33E+07	1.34E+08	1.37E+01	5.58E-08	3.69E-01	4.19E-03
1300	0.05574	26.12	37.19	1.65E+06	8.43E+07	1.23E+08	9.10E+00	1.24E-08	1.13E-01	1.41E-03

Tablica 9

Nukleacja mikroszczelin dwusoczekowych i trójściennych w Fe- α dla ziarna osmiościennego o średnicy $\delta=1 \mu\text{m}$ oraz $\theta=75^\circ$.

Wartości $\xi_0^* = \xi_{gs}^{III*}, j_{gs}^{III*}, \Delta f_{gs}^{III*}, j_{bg}^{III}, j_{hs}^{III}, j_{gs}^{III}, j_{gs}^{II}, j_{gs}^{II*}, j_{gs}^{III*}, \lambda_0$ dla krytycznej prędkości nukleacji globalnej

$$j_0^* = 1/V = 1.539 \cdot 10^{12} \text{ zarodków/cm}^3 \text{ s.}$$

$\delta = 10^{-4} \text{ cm} \quad v_g = .6495 \cdot 10^{-12} \text{ cm}^3 \quad S_g = 4.299 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2 \quad S_g/v_g = 6.619 \cdot 10^6 \text{ cm}^{-1}$										
Fe- α Nukleacja globalna = Nukleacja heterogeniczna										
T	$\xi_0^* = \xi_{gs}^{III*}$	j_{gs}^{III*}	$\Delta f_{gs}^{III*}/kT$	j_{bg}^{III}	j_{hs}^{III}	j_{gs}^{III}	j_{gs}^{II}	j_{gs}^{II*}	j_{gs}^{III*}	λ_0
300	0.08446	2.43	38.59	1.93E+06	1.61E+10	2.77E+10	1.11E+03	5.53E-03	9.29E+04	5.21E+06
500	0.07439	4.56	35.24	2.02E+07	1.50E+10	2.22E+10	3.78E+03	1.77E-04	7.01E+02	4.85E+04
700	0.06777	7.38	34.69	1.09E+08	1.28E+10	1.68E+10	4.07E+03	1.88E-05	5.87E+01	4.76E+03
900	0.06305	10.78	34.76	3.70E+08	1.11E+10	1.65E+10	3.51E+03	3.88E-06	1.25E+01	1.15E+03
1100	0.05950	14.71	34.96	9.57E+08	9.71E+09	1.51E+10	2.97E+03	1.23E-06	4.29E+00	4.38E+02
1300	0.05670	19.11	35.24	2.02E+09	8.38E+09	1.39E+10	2.56E+03	5.04E-07	1.93E+00	2.16E+02
1500	0.05440	23.93	35.51	3.61E+09	7.04E+09	1.30E+10	2.27E+03	2.49E-07	1.03E+00	1.24E+02
1700	0.05245	29.18	35.78	5.53E+09	5.68E+09	1.21E+10	2.03E+03	1.36E-07	6.10E-01	7.83E+01

Tablica 12

Nukleacja mikroszczelin dwusoczekowych i trójściennych w Al dla ziarna osmiościennego o średnicy $\delta=1 \mu\text{m}$ oraz $\theta=75^\circ$.

Wartości ϵ_0^* , $i_{gs}^{III^*}$, $\Delta F_{gs}^{III^*}$, J_{bg}^{III} , J_{bs}^{III} , J_{gs}^{III} , J_{gs}^{II} , $W_{gs}^{II^*}$, $W_{gs}^{III^*}$, J_0 dla globalnej liczby agregatów krytycznych $\lambda_0^* = 1/V = 1.539 \cdot 10^{12}$ zarodków/cm³.

$\delta = 10^{-4} \text{ cm}$ $V_g = .6490 \cdot 10^{-12} \text{ cm}^3$ $S_g = 4.299 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2$ $S_g/V_g = 6.619 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-1}$										
Al										
Nukleacja globalna										
T	ϵ_0^*	$i_{gs}^{III^*}$	$\Delta F_{gs}^{III^*}/kT$	J_{bg}^{III}	J_{bs}^{III}	J_{gs}^{III}	J_{gs}^{II}	$W_{gs}^{II^*}$	$W_{gs}^{III^*}$	J_0
300	0.10687	1.74	25.35	7.17E+17	5.43E+14	6.04E+17	1.64E+13	8.70E+05	2.44E+10	3.56E+19
500	0.09617	2.41	18.66	1.57E+19	3.39E+18	4.52E+19	1.13E+16	4.91E+06	1.36E+10	3.65E+21
700	0.09119	3.17	15.97	4.61E+19	3.83E+19	1.71E+20	1.33E+17	9.39E+06	8.47E+09	2.09E+22
900	0.08604	4.09	14.75	1.04E+20	8.31E+19	2.79E+20	3.82E+17	1.10E+07	5.70E+09	4.78E+22

Tablica 13

Nukleacja mikroszczelin dwusoczekowych i trójściennych w Al dla ziarna osmiościennego o średnicy $\delta=10 \mu\text{m}$ oraz $\theta=75^\circ$.

Wartości ϵ_0^* , $i_{gs}^{III^*}$, $\Delta F_{gs}^{III^*}$, J_{bg}^{III} , J_{bs}^{III} , J_{gs}^{III} , J_{gs}^{II} , $W_{gs}^{II^*}$, $W_{gs}^{III^*}$, J_0 dla globalnej liczby agregatów krytycznych $\lambda_0^* = 1/V = 1.539 \cdot 10^9$ zarodków/cm³.

$\delta = 10^{-3} \text{ cm}$ $V_g = .6490 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^3$ $S_g = 4.299 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2$ $S_g/V_g = 6.619 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-1}$										
Al										
Nukleacja globalna										
T	ϵ_0^*	$i_{gs}^{III^*}$	$\Delta F_{gs}^{III^*}/kT$	J_{bg}^{III}	J_{bs}^{III}	J_{gs}^{III}	J_{gs}^{II}	$W_{gs}^{II^*}$	$W_{gs}^{III^*}$	J_0
300	0.10372	2.06	28.08	2.34E+16	1.07E+14	2.49E+16	1.24E+11	9.02E+03	1.26E+09	1.64E+16
500	0.09333	2.88	20.92	2.57E+17	2.96E+17	1.72E+18	1.44E+14	7.90E+04	6.42E+08	2.11E+18
700	0.08615	3.98	18.55	8.89E+17	1.87E+18	6.01E+18	1.40E+15	1.38E+05	4.06E+08	1.39E+19
900	0.08104	5.32	17.55	2.52E+18	3.26E+18	8.58E+18	3.35E+15	1.36E+05	2.43E+08	3.01E+19

Tablica 14

Nukleacja mikroszczelin dwusoczkowych i trójsiennych w Al dla ziarna osmoościennego o średnicy $\delta=100 \mu\text{m}$ oraz $\theta=75^\circ$.

Wartości ξ_0^* , $i_{\text{gs}}^{\text{III}^*}$, $\Delta F_{\text{gs}}^{\text{III}^*}$, $J_{\text{bg}}^{\text{III}^*}$, $J_{\text{hs}}^{\text{III}^*}$, $J_{\text{gs}}^{\text{III}^*}$, $J_{\text{gs}}^{\text{II}}$, $N_{\text{gs}}^{\text{II}^*}$, $N_{\text{gs}}^{\text{III}^*}$, J_0 dla globalnej liczby agregatów krytycznych

$$\lambda_0^* = 1/V_g = 1.539 \cdot 10^6 \text{ zarodków/cm}^3$$

		$\delta = 10^{-2} \text{ cm} \quad V = .6490 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3 \quad S = 4.299 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2 \quad S/V = 6.618 \cdot 10^2 \text{ cm}^{-1}$								
Al		Nukleacja globalna								
T	ξ_0^*	$i_{\text{gs}}^{\text{III}^*}$	$\Delta F_{\text{gs}}^{\text{III}^*}/kT$	$J_{\text{bg}}^{\text{III}^*}$	$J_{\text{hs}}^{\text{III}^*}$	$J_{\text{gs}}^{\text{III}^*}$	$J_{\text{gs}}^{\text{II}}$	$N_{\text{gs}}^{\text{II}^*}$	$N_{\text{gs}}^{\text{III}^*}$	J_0
300	0.10016	2.33	30.34	3.59E+14	1.44E+13	1.13E+15	4.00E+09	3.29E+02	6.31E+07	9.88E+12
500	0.08903	3.40	23.38	3.60E+15	1.79E+16	7.42E+16	2.13E+12	1.49E+03	3.51E+07	1.93E+15
700	0.08194	4.90	21.34	1.71E+16	7.28E+16	1.82E+17	1.28E+13	1.70E+03	1.65E+07	9.95E+15
900	0.07698	6.71	20.47	6.45E+16	1.15E+17	2.65E+17	2.85E+13	1.54E+03	9.92E+06	2.17E+16

Tablica 15

Nukleacja mikroszczelin dwusoczkowych i trójsiennych w Cu dla ziarna osmoościennego o średnicy $\delta=1 \mu\text{m}$ oraz $\theta=75^\circ$.

Wartości ξ_0^* , $i_{\text{gs}}^{\text{III}^*}$, $\Delta F_{\text{gs}}^{\text{III}^*}$, $J_{\text{bg}}^{\text{III}^*}$, $J_{\text{hs}}^{\text{III}^*}$, $J_{\text{gs}}^{\text{III}^*}$, $J_{\text{gs}}^{\text{II}}$, $N_{\text{gs}}^{\text{II}^*}$, $N_{\text{gs}}^{\text{III}^*}$, J_0 dla globalnej liczby agregatów krytycznych

$$\lambda_0^* = 1/V_g = 1.539 \cdot 10^{12} \text{ zarodków/cm}^3$$

		$\delta = 10^{-4} \text{ cm} \quad V_g = .6490 \cdot 10^{-12} \text{ cm}^3 \quad S_g = 4.299 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2 \quad S_g/V_g = 6.619 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-1}$								
Cu		Nukleacja globalna								
T	ξ_0^*	$i_{\text{gs}}^{\text{III}^*}$	$\Delta F_{\text{gs}}^{\text{III}^*}/kT$	$J_{\text{bg}}^{\text{III}^*}$	$J_{\text{hs}}^{\text{III}^*}$	$J_{\text{gs}}^{\text{III}^*}$	$J_{\text{gs}}^{\text{II}}$	$N_{\text{gs}}^{\text{II}^*}$	$N_{\text{gs}}^{\text{III}^*}$	J_0
300	0.09594	1.60	25.07	1.19E+05	6.04E+12	8.60E+12	1.17E+08	6.23E+05	3.08E+10	4.27E+14
500	0.09030	2.16	18.37	3.94E+11	2.17E+16	3.12E+16	7.64E+12	7.17E+06	1.97E+10	2.19E+18
700	0.08529	2.89	15.90	2.06E+14	5.10E+17	7.41E+17	5.27E+14	1.26E+07	1.19E+10	7.89E+19
900	0.08113	3.73	14.68	7.28E+15	2.75E+18	4.04E+18	4.86E+15	1.49E+07	8.37E+09	5.83E+20
1100	0.07772	4.68	13.97	7.96E+16	8.02E+18	1.20E+19	1.97E+16	1.61E+07	6.64E+09	2.14E+21
1300	0.07486	5.73	13.52	4.52E+17	1.67E+19	2.54E+19	5.11E+16	1.66E+07	5.61E+09	5.28E+21

Tablica 16

Wklejacja mikroszczelin dwusoczekowych i trójsiecznych w Cu dla ziarna osmiościennego o średnicy $\delta=10 \mu\text{m}$ oraz $\theta=75^\circ$.

Wartości ϵ_o^* , i_{gs}^{III*} , ΔF_{gs}^{III*} , J_{bg}^{III} , J_{be}^{III} , J_{gs}^{III} , J_{gs}^{II} , J_{gs}^{II*} , J_{gs}^{III*} , J_o dla globalnej liczby agregatów krytycznych

$$\lambda_o^* = 1/V_g = 1.539 \cdot 10^9 \text{ zarodków/cm}^3$$

Cu		$\delta = 10^{-3} \text{ cm}$ $V_g = .6490 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^3$ $S_g = 4.299 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2$ $S_g/V_g = 6.619 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-1}$								
Cu		Wklejacja globalna								
T	ϵ_o^*	i_{gs}^{III*}	$\Delta F_{gs}^{III*}/kT$	J_{bg}^{III}	J_{be}^{III}	J_{gs}^{III}	J_{gs}^{II}	J_{gs}^{II*}	J_{gs}^{III*}	J_o
300	0.09385	1.79	26.94	3.50E+03	2.99E+11	4.25E+11	2.59E+06	2.47E+04	2.73E+09	2.32E+11
500	0.08699	2.60	20.77	7.76E+09	6.79E+14	9.70E+14	8.46E+10	1.40E+05	1.08E+09	1.12E+15
700	0.08136	3.65	18.58	4.00E+12	1.42E+16	2.05E+16	4.59E+12	1.79E+05	5.38E+08	4.36E+16
900	0.07698	4.85	17.49	1.62E+14	7.97E+16	1.16E+17	4.16E+13	1.93E+05	3.62E+08	3.58E+17
1100	0.07347	6.21	16.86	1.98E+15	2.41E+17	3.56E+17	1.68E+14	1.96E+05	2.81E+08	1.38E+18
1300	0.07061	7.68	16.45	1.26E+16	5.28E+17	7.92E+17	4.49E+14	2.00E+05	2.39E+08	3.63E+18

Tablica 17

Wklejacja mikroszczelin dwusoczekowych i trójsiecznych w Cu dla ziarna osmiościennego o średnicy $\delta=100 \mu\text{m}$ oraz $\theta=75^\circ$.

Wartości ϵ_o^* , i_{gs}^{III*} , ΔF_{gs}^{III*} , J_{bg}^{III} , J_{be}^{III} , J_{gs}^{III} , J_{gs}^{II} , J_{gs}^{II*} , J_{gs}^{III*} , J_o dla globalnej liczby agregatów krytycznych

$$\lambda_o^* = 1/V_g = 1.539 \cdot 10^6 \text{ zarodków/cm}^3$$

Cu		$\delta = 10^{-2} \text{ cm}$ $V_g = .6490 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3$ $S_g = 4.299 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2$ $S_g/V_g = 6.619 \cdot 10^2 \text{ cm}^{-1}$								
Cu		Wklejacja globalna								
T	ϵ_o^*	i_{gs}^{III*}	$\Delta F_{gs}^{III*}/kT$	J_{bg}^{III}	J_{be}^{III}	J_{gs}^{III}	J_{gs}^{II}	J_{gs}^{II*}	J_{gs}^{III*}	J_o
300	0.09175	1.99	29.00	8.57E+01	1.23E+10	1.74E+10	4.36E+04	7.45E+02	2.00E+08	1.20E+08
500	0.08387	3.12	23.44	1.30E+08	1.74E+13	2.47E+13	6.81E+08	1.90E+03	4.65E+07	6.01E+11
700	0.07795	4.52	21.44	7.86E+10	3.76E+14	5.39E+14	3.52E+10	2.08E+03	2.15E+07	2.70E+13
900	0.07349	6.13	20.44	3.72E+12	2.26E+15	3.27E+15	3.29E+11	2.15E+03	1.44E+07	2.42E+14
1100	0.07000	7.93	19.85	5.20E+13	7.29E+15	1.07E+16	1.38E+12	2.17E+03	1.13E+07	1.00E+15
1300	0.06717	9.91	19.49	3.63E+14	1.65E+16	2.45E+16	3.74E+12	2.15E+03	9.55E+06	2.70E+15

Tablica 16

Nukleacja mikroszczelin dwuszczytowych i trójściennych w Fe- α dla ziarna osmiościennego o średnicy $\delta = 1 \mu\text{m}$ oraz $\theta = 75^\circ$.

Wartości ξ_0^* , $J_{gs}^{III^*}$, $\Delta F_{gs}^{III^*}$, J_{bg}^{III} , J_{hs}^{III} , J_{gs}^{III} , J_{gs}^{II} , $J_{gs}^{II^*}$, $J_{gs}^{III^*}$, J_0 dla globalnej liczby agregatów krytycznych

$$\lambda_0^* = 1/V_g = 1.539 \cdot 10^{12} \text{ zarodków/cm}^3$$

Fe- α		Nukleacja globalna								
		$\delta = 10^{-4} \text{ cm}$ $V_g = .6490 \cdot 10^{-12} \text{ cm}^3$ $S_g = 4.299 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2$ $S_g/V_g = 6.619 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-1}$								
T	ξ_0^*	$J_{gs}^{III^*}$	$\Delta F_{gs}^{III^*}/kT$	J_{bg}^{III}	J_{hs}^{III}	J_{gs}^{III}	J_{gs}^{II}	$J_{gs}^{II^*}$	$J_{gs}^{III^*}$	J_0
300	0.09448	1.59	29.10	8.01E+14	5.48E+15	5.17E+16	1.26E+11	1.13E+05	3.14E+10	2.53E+18
500	0.08859	2.00	20.45	2.06E+17	4.78E+18	9.35E+18	1.11E+15	4.20E+06	2.40E+10	5.66E+20
700	0.08383	2.60	17.31	2.05E+18	2.58E+19	4.77E+19	1.90E+16	9.28E+06	1.60E+10	3.99E+21
900	0.07996	3.29	15.76	8.75E+18	5.68E+19	1.03E+20	8.20E+16	1.27E+07	1.12E+10	1.18E+22
1100	0.07669	4.08	14.88	2.39E+19	8.84E+19	1.65E+20	2.00E+17	1.44E+07	8.55E+09	2.43E+22
1300	0.07391	4.93	14.30	5.12E+19	1.18E+20	2.35E+20	3.79E+17	1.55E+07	7.05E+09	4.18E+22
1500	0.07149	5.86	13.91	9.29E+19	1.44E+20	3.10E+20	6.19E+17	1.61E+07	6.10E+09	6.45E+22
1700	0.06935	6.86	13.64	1.48E+20	1.64E+20	3.87E+20	9.09E+17	1.64E+07	5.42E+09	9.14E+22

Tablica 19

Wukleacja mikroszczelin dwuszczkowych i trójściennych w Fe- α dla ziarna ośmiościennego o średnicy $\delta=10 \mu\text{m}$ oraz $\theta=75^\circ$.

Wartości ξ_0^* , $J_{gs}^{III^*}$, $\Delta F_{gs}^{III^*}$, J_{bg}^{III} , J_{bs}^{III} , J_{gs}^{III} , J_{gs}^{II} , $N_{gs}^{II^*}$, $N_{gs}^{III^*}$, J_0 dla globalnej liczby agregatów krytycznych

$$\xi_0^* = 1/V_g = 1.539 \cdot 10^9 \text{ zarodków/cm}^3$$

Fe- α		Wukleacja globalna								
		$\delta = 10^{-3} \text{ cm}$ $V_g = .6490 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^3$ $S_g = 4.299 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2$ $S_g/V_g = 6.619 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-1}$								
T	ξ_0^*	$J_{gs}^{III^*}$	$\Delta F_{gs}^{III^*}/kT$	J_{bg}^{III}	J_{bs}^{III}	J_{gs}^{III}	J_{gs}^{II}	$N_{gs}^{II^*}$	$N_{gs}^{III^*}$	J_0
300	0.09212	1.72	30.68	1.47E+13	8.04E+14	4.06E+15	4.95E+09	5.42E+03	3.00E+09	2.06E+15
500	0.08545	2.34	22.62	3.37E+15	2.09E+17	3.91E+17	1.55E+13	9.50E+04	1.62E+09	3.19E+17
700	0.08027	3.19	19.82	3.90E+16	8.94E+17	1.51E+18	2.00E+14	1.59E+05	8.13E+08	2.25E+18
900	0.07612	4.18	18.47	1.83E+17	1.81E+18	3.04E+18	7.41E+14	1.80E+05	5.09E+08	6.95E+18
1100	0.07275	5.28	17.68	5.68E+17	2.82E+18	4.92E+18	1.74E+15	1.88E+05	3.76E+08	1.51E+19
1300	0.06995	6.49	17.17	1.38E+18	3.86E+18	7.21E+18	3.32E+15	1.96E+05	3.09E+08	2.76E+19
1500	0.06754	7.81	16.84	2.71E+18	4.73E+18	9.65E+18	5.39E+15	1.97E+05	2.63E+08	4.38E+19
1700	0.06545	9.21	16.60	4.68E+18	5.48E+18	1.24E+19	8.06E+15	1.98E+05	2.33E+08	6.45E+19

Tablica 20

Nukleacja mikroszczelin dwusoczekowych i trójściennych wFe- α dla ziarna osmiodosiennego o średnicy $\delta=100 \mu\text{m}$ oraz $\theta=75^\circ$.

Wartości ζ_0^* , $j_{gs}^{III^*}$, $\Delta F_{gs}^{III^*}$, j_{bg}^{III} , j_{bs}^{III} , j_{gs}^{III} , j_{gs}^{II} , $j_{gs}^{II^*}$, $j_{gs}^{III^*}$, J_0 dla globalnej liczby agregatów krytycznych

$$\lambda_0^* = 1/V_g = 1.539 \cdot 10^6 \text{ zarodków/cm}^3$$

Fe- α		$\delta = 10^{-2} \text{ cm}$ $V_g = .6490 \cdot 10^6 \text{ cm}^3$ $S_g = 4.299 \cdot 10^4 \text{ cm}^2$ $S_g/V_g = 6.619 \cdot 10^2 \text{ cm}^{-1}$								
		Nukleacja globalna								
T	ζ_0^*	$j_{gs}^{III^*}$	$\Delta F_{gs}^{III^*}/kT$	j_{bg}^{III}	j_{bs}^{III}	j_{gs}^{III}	j_{gs}^{II}	$j_{gs}^{II^*}$	$j_{gs}^{III^*}$	J_0
300	0.08996	1.87	32.38	2.85E+11	8.64E+13	2.78E+14	1.62E+08	2.35E+02	2.71E+08	1.53E+12
500	0.08260	2.74	25.09	5.29E+13	7.05E+15	1.18E+16	1.61E+11	1.61E+03	8.01E+07	1.75E+14
700	0.07707	3.87	22.58	6.85E+14	2.54E+16	4.03E+16	1.63E+12	2.01E+03	3.38E+07	1.34E+15
900	0.07283	5.19	21.35	3.86E+15	5.26E+16	8.44E+16	5.90E+12	2.10E+03	2.06E+07	4.52E+15
1100	0.06946	6.66	20.63	1.39E+16	8.56E+16	1.43E+17	1.41E+13	2.13E+03	1.52E+07	1.04E+16
1300	0.06669	8.27	20.17	3.78E+16	1.21E+17	2.18E+17	2.72E+13	2.17E+03	1.25E+07	1.99E+16
1500	0.06433	10.01	19.87	8.14E+16	1.53E+17	3.00E+17	4.50E+13	2.16E+03	1.07E+07	3.25E+16
1700	0.06229	11.87	19.65	1.50E+17	1.80E+17	3.95E+17	6.86E+13	2.16E+03	9.46E+06	4.93E+16

Tablica 21

Wartości stosunku $[186h(i)_{gs}^{III^*}]_{gs}^{III^*} / V_g / J_o^*$ dla Al, Cu, Fe- α , ziarna ośmioosiennego o średnicach $\delta=1,10$ i $100 \mu m$ oraz

$\vartheta 75^0$

T	Aluminium			Miedź			Żelazo α		
	100 μm	10 μm	1 μm	100 μm	10 μm	1 μm	100 μm	10 μm	1 μm
300	0.999107	0.999801	0.999956	0.918339	0.981893	0.996322	0.998914	0.999774	0.999953
500	0.998298	0.999579	0.999898	0.954669	0.988902	0.997376	0.997018	0.999301	0.999837
700	0.998454	0.999602	0.999898	0.979996	0.994894	0.998717	0.997127	0.999285	0.999823
900	0.998708	0.999658	0.999910	0.989870	0.997332	0.999307	0.997688	0.999404	0.999848
1100				0.994036	0.998407	0.999577	0.998151	0.999512	0.999872
1300				0.996053	0.998942	0.999716	0.998459	0.999587	0.999891
1500							0.998666	0.999644	0.999904
1700							0.998798	0.999679	0.999913

Tablica 22

Wartości stosunku $[186h(i)_{gs}^{III^*}]_{gs}^{III^*} / V_g / J_o^*$ dla Al, Cu, Fe- α , ziarna ośmioosiennego o średnicach $\delta=1,10$ i $100 \mu m$ oraz

$\vartheta 75^0$

T	Aluminium			Miedź			Żelazo α		
	100 μm	10 μm	1 μm	100 μm	10 μm	1 μm	100 μm	10 μm	1 μm
300	0.226920	0.488171	0.886963	0.680759	0.894034	0.973247	0.899554	0.976609	0.995137
500	0.160877	0.306345	0.550641	0.183744	0.401074	0.691373	0.304605	0.588730	0.819312
700	0.085210	0.190505	0.377001	0.097094	0.225622	0.458815	0.142236	0.322083	0.599157
900	0.057084	0.128056	0.275612	0.071489	0.166188	0.352535	0.096792	0.222878	0.450574
1100				0.061000	0.140833	0.299964	0.077855	0.178915	0.371501
1300				0.055950	0.127345	0.271267	0.067808	0.154913	0.325546
1500							0.062223	0.141391	0.297097
1700							0.058569	0.132675	0.279298

5. Wniocki

Wniocki wynikające z przeprowadzonych obliczeń omówimy oddzielnie dla obu kryteriów, zaczynając od pierwszego.

Podobnie jak przy mikroszczelinach dwusoczewkowych [6] udział nukleacji homogenicznej (J_g) pozostaje tu znikomo mały. Ponadto, wpływ nukleacji heterogenicznej mikroszczelin dwusoczewkowych (J_{gs}^{II}) na prędkość nukleacji globalnej (J_o) okazuje się również pomijalnie mały. Niewielki efekt obu tych nukleacji wyrażony jest w tablicy 21. Wyjątek stanowi tu miedź w temperaturze $T=300$ K i 500 K oraz średnicy ziarna średniego $\delta=100$ μ m gdzie wpływ ten sięga odpowiednio 8% i 5%. Jest to głównie wpływ strumienia J_{gs}^{II} . Ponieważ o odkształceniu krytycznym decyduje na ogół nukleacja heterogeniczna kreująca mikroszczeliny trójścienne, konfrontując wyniki niniejszych obliczeń z uzyskanymi uprzednio dla mikroszczelin dwusoczewkowych [6] otrzymujemy bezpośrednie porównanie wpływu obu tych typów na odkształcenie krytyczne. Łatwo widać, że odkształcenia te, ϵ_o^* , są dla modelu trójściennego niższe, a więc następuje tu zmniejszenie wytrzymałości metalu na mikropęknięcie. Małeje również dla tego modelu - w stosunku do dwusoczewki - wielkość zarodka mikroszczeliny. Odpowiednie udziały mechanizmu powierzchniowego J_{bg}^{III} i obwodowego J_{bs}^{III} zostały tu obliczone na podstawie nukleacji globalnej (a nie, jak dawniej [5,6], z prostej sumy obu tych mechanizmów). Zachowana jest na ogół relacja $J_{bg}^{III} < J_{bs}^{III}$.

Drugie kryterium, w którym warunek mikropęknięcia wyrażony jest przez globalną liczbę agregatów krytycznych (A_o^*), określa wyższe odkształcenia krytyczne ϵ_o^* w porównaniu z pierwszym kryterium. Ponadto, jak wynika z tablicy 22, wszystkie mechanizmy nukleacyjne są na ogół istotne w równaniu (44) przy warunku (48) tak, że żaden z nich nie może być pominięty. W związku z tym J_{gs}^{III*} nie jest miarą wielkości zarodka mikroszczeliny.

Zgodnie z danymi eksperymentalnymi oba kryteria wykazują spadek wytrzymałości metalu na mikropęknięcie (mniejsze ϵ_o^*) wraz ze wzrostem wielkości ziarna.

Literatura

1. J.Krzemiński, Prace IPPT, 26, 1990, Konf. "Teoria Agregacji i Koagulacji. II".
2. J.Krzemiński, Arch. Mech., w druku.
3. R.Raj, M.F.Ashby, Act Met., 23,653, 1975.
4. P.J.Clemm, J.C.Fisher, Acta Met., 3,70,1955.
5. J.Krzemiński, Arch. Mech., 35,5-6,639,1983.
6. Z.Dziarnowski, J.Krzemiński, Prace IPPT, 42, 1989.